温度对白蜡吉丁柄腹茧蜂发育和繁殖的影响

田 军[1], 王小艺[2], 杨忠岐[2], 马 玲[1,3,*], 郎 瑾[1], 曾繁喜[4], 何国萍[4]
(1. 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林保护学重点实验室, 北京 100091; 3. 北京林业大学林学院, 北京 100083; 4. 天津市官港森林公园管理处, 天津 300274)

摘要: 为了提高白蜡窄吉丁 *Agrilus planipennis* 的重要天敌——白蜡吉丁柄腹茧蜂 *Spathius agrili* Yang 的繁育效率, 本研究调查了不同温度(22, 24, 26, 28, 30 和 32℃)对该蜂生长发育及繁殖的影响。结果表明, 在 22 ~ 32℃范围内, 白蜡吉丁柄腹茧蜂的卵、茧蛹及世代发育速率均随着温度的升高而加快, 而幼虫的发育速率在 26℃时最快。卵、幼虫、茧蛹和世代的发育起点温度分别为 14.34, 16.89, 14.16 和 13.84℃, 有效积温分别为 24.59, 61.16, 166.27 和 276.80 日·度。温度对白蜡吉丁柄腹茧蜂的寄生率、寄生成功率、产卵量、子代蜂数量和性比都有不同程度的影响。据此提出适于人工繁育白蜡吉丁柄腹茧蜂的温度范围为 26 ~ 28℃。

关键词: 白蜡吉丁柄腹茧蜂; 白蜡窄吉丁; 温度; 发育; 繁殖; 寄生
中图分类号: Q968.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2009)11-1223-06

Effects of temperature on development and reproduction of parasitic wasp *Spathius agrili* Yang (Hymenoptera: Braconidae), an effective parastoid of emerald ash borer

TIAN Jun[1], WANG Xiao-Yi[2], YANG Zhong-Qi[2], MA Ling[1,3,*], LANG Jin[1], ZENG Fan-Xi[4], HE Guo-Ping[4] (1. School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 2. The Key Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration of China, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. College of Environmental Sciences, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 4. Guangang Forest Park, Tianjin 300274, China)

Abstract: To increase the reproduction rate of *Spathius agrili* Yang (Hymenoptera: Braconidae), an effective larval parasitoid of emerald ash borer, *Agrilus planipennis*, in China, the effects of different temperatures (22, 24, 26, 28, 30 and 32℃) on the development and reproduction of this wasp were investigated in the laboratory. The results showed that the developmental rate of egg, pupa and the whole generation of *S. agrili* increased with the increase of temperature from 22℃ to 32℃, but the highest developmental rate of larva was at 26℃. The developmental threshold temperatures required by egg, larva, pupa and whole generation were 14.34, 16.89, 14.16 and 13.84℃, respectively, while the effective accumulated temperatures were 24.59, 61.16, 166.27 and 276.80 degree-days, respectively. Temperature had effects on the parasitism rate, the rate of successful parasitism, number of eggs laid, the number of wasps and the sex ratio of the offspring with different degrees. It is so proposed that the suitable temperature for artificial rearing of *S. agrili* ranges from 26℃ to 28℃.

Key words: *Spathius agrili*; *Agrilus planipennis*; temperature; development; reproduction; parasitism

白蜡窄吉丁 *Agrilus planipennis* Fairmaire (emerald ash borer, EAB)属鞘翅目(Coleoptera)吉丁甲科(Buprestidae)窄吉丁甲属 *Agrilus* Dahl., (Jendek, 1994; Haack *et al.*, 2002), 自然分布于东北亚地区(于诚铭, 1992; Herms *et al.*, 2004), 包括我国的黑龙江、辽宁、吉林、山东、内蒙古、河北、天津、台湾、北京等地(于诚铭, 1992; 刘海清等, 1996; Wei *et al.*, 2004)。近年来该虫害传播到美国

基金项目: 国家十一五科技支撑计划项目"林业重大生物灾害防控新技术产业化与示范"(2006BAD08A12)
作者简介: 田军,男,1981 年生,硕士研究生,研究方向为昆虫生态学与害虫生物防治,E-mail: tianjun2323@163.com
* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: maling63@163.com
收稿日期 Received: 2009-05-08; 接受日期 Accepted: 2009-09-01

和加拿大，是白蜡属 *Fraxinus* 树木十分重要的蛀干害虫（Jendek，1994；Robert，2002；赵同海等，2005），防治极为困难，被我国列为森林植物检疫对象（于诚铭，1992；王小艺，2005；赵同海等，2005）。

白蜡吉丁柄腹茧蜂 *Spathius agrili* Yang，属膜翅目（Hymenoptera）茧蜂科（Braconidae），是在天津地区发现的一种重要天敌新种（Yang *et al.*，2005）。该蜂群集外寄生白蜡窄吉丁幼虫，是一种专化性很强的抑性外寄生蜂，在时间和空间上对寄主害虫的跟随作用均很明显，搜索能力和寄主攻击能力很强，具有良好的生物防治应用前景（王小艺和杨忠岐，2005；王小艺等，2006）。由于该蜂是一新发现种，国内外对其的研究较少且主要集中于生物学及其与寄主的关系上，关于人工繁育白蜡吉丁柄腹茧蜂的一些生物学参数的研究尚未见报道。繁育技术中的一个关键因素是对温度条件的控制，许多研究表明，在诸多生物和非生物因子中，温度是影响昆虫生长发育的最主要因子（Hagastrum *et al.*，1988）。本实验通过设置一系列温度梯度来比较不同温度对人工繁育白蜡吉丁柄腹茧蜂的影响，以期为该寄生蜂的大量繁殖和利用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

寄生蜂：白蜡吉丁柄腹茧蜂于 4 月间采自天津市大港区官港森林公园，虫态为在茧中越冬的老熟幼虫，后经室内饲养至羽化为成蜂（用脱脂棉球蘸 20% 蜂蜜水供成蜂取食）。

寄主：白蜡窄吉丁幼虫采自官港森林公园的白蜡林，树种为天津市树绒毛白蜡 *Fraxinus velutina* Torr.。寄主幼虫采回室内进行饲养，将直径为 1.0 ~1.5 cm 白蜡树枝剪成 8 ~ 10 cm 的小段，剖开，在其中一半靠近树皮处挖一个适合虫体大小凹槽，选取 3 ~4 龄幼虫放入凹槽内，合上树枝并用皮筋固定用于接蜂。

1.2 实验方法

采用 GXZ-160A 智能型光照培养箱（宁波江南仪器厂）控制温度，设置 22，24，26，28，30，32℃ 6 个温度梯度（±1℃），相对湿度 60% ~70%，光周期为 L14∶D10（06∶00 – 20∶00）。将饲养有寄主的白蜡枝段放入平底的指形管（12 cm × 2.5 cm）内，再接入 1 头交过尾的雌蜂，并在管壁放置蘸有 20% 蜂蜜水的棉球供给寄生蜂营养，塞上棉塞，接蜂完毕后进行标记并放入光照培养箱，每 8 h 观察 1 次（07∶00，15∶00，23∶00），记录各虫态发育历期，直至其羽化，并统计其后代性比。每个温度处理 20 头，重复 3 次。

1.3 数据统计分析

白蜡吉丁柄腹茧蜂各发育阶段的发育起点温度和完成各虫态的有效积温的计算方法：利用直线回归法，根据有效积温法则公式 $K = N(T - C)$ 转化为 $T = C + KV$（T = 饲养温度，V = 发育速率，N = 发育历期），把发育历期（N）转化为发育速率（V），制作发育速率（V）与所处发育温度（T）之间的回归直线，得出发育起点温度（C）和有效积温（K）（张孝羲，2002；郭庆亮等，2007）。实验数据均以平均数 ± 标准误（mean ± *SE*）表示，用 Excel 2003 和 SPSS13.0 软件进行分析，处理间差异显著性采用 LSD 法分析。

2 结果与分析

2.1 温度对发育历期的影响

不同温度下白蜡吉丁柄腹茧蜂各虫态的发育历期见表 1。实验结果表明：温度对该蜂的生长发育有显著影响，在 22 ~32℃ 下，除幼虫期外，各发育历期均随温度升高而缩短，32℃ 时全世代发育历期最短，为 15.97 ± 0.09 d，比 22℃ 时缩短了 19.20 d，幼虫期在 26℃ 下最短，为 4.73 ± 0.37 d。

表 1 不同温度下白蜡吉丁柄腹茧蜂的发育历期

Table 1 Developmental durations of *Spathius agrili* at different temperatures

温度（℃）	发育历期 Developmental duration (d)			
Temperature	卵期 Egg	幼虫期 Larva	茧蛹期 Pupa	世代 Generation
22	2.83 ± 0.17 a	11.33 ± 0.17 a	21.00 ± 0.29 a	35.17 ± 0.44 a
24	2.67 ± 0.27 a	8.07 ± 0.30 b	17.60 ± 0.21 b	28.17 ± 0.19 b
26	2.27 ± 0.39 ab	4.73 ± 0.37 c	13.97 ± 0.26 c	20.97 ± 0.23 c
28	1.77 ± 0.15 bc	6.00 ± 0.29 de	11.47 ± 0.29 d	19.23 ± 0.62 d
30	1.60 ± 0.21 bc	5.03 ± 0.58 ce	10.33 ± 0.44 e	16.97 ± 0.09 e
32	1.37 ± 0.15 c	4.93 ± 0.30 ce	9.67 ± 0.33 e	15.97 ± 0.09 e

同列数据后有相同字母表示经 LSD 多重比较后差异不显著（$P > 0.05$）；表 3 同。The data in the same column followed by the same letters are not significantly different at $P > 0.05$ by LSD's multiple range test. The same for Table 3.

2.2　发育起点温度及有效积温

由表 2 可知白蜡吉丁柄腹茧蜂各虫态发育起点温度及有效积温，其中茧蛹期（从末龄老熟幼虫结茧开始至羽化的历期）的发育起点温度最低为 14.16℃，但各虫态间差异不大；茧蛹期的有效积温最高，为 166.27 日・度。全世代的发育起点温度为 13.84℃，有效积温为 276.80 日・度。根据以上结果可知，白蜡吉丁柄腹茧蜂世代发育起点温度的理论值为 13.84℃，但由于各个虫态的发育起点温度不尽相同，应取最大值作为该蜂繁育时的最低温度，即幼虫的发育起点温度 16.89℃。

表 2　白蜡吉丁柄腹茧蜂各虫态的发育起点温度和有效积温

Table 2 Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Spathius agrili*

虫期 Stage	发育起点温度（℃） Threshold temperature	有效积温（日・度） Accumulated temperature（degree-day）	回归方程 Model	R^2
卵期 Egg	14.34 ±0.72	24.59 ±1.28	$T = 14.34 + 24.59V$	0.9690
幼虫期 Larva	16.89 ±3.78	61.16 ±22.06	$T = 16.89 + 61.16V$	0.6578
蛹期 Pupa	14.16 ±0.83	166.27 ±10.39	$T = 14.16 + 166.27V$	0.9846
世代 Generation	13.84 ±0.29	276.80 ±0.60	$T = 13.84 + 276.80V$	0.9709

2.3　温度对寄生率和寄生成功率的影响

寄生率（b）和寄生成功率（r）是衡量人工繁育效果的重要指标（田慎鹏和徐志强，2003；陈敏等，2007），$b = R/S$。式中 R 为被寄生（以寄主被寄生蜂蛰刺、麻痹、停止发育并在寄主体上产卵为标志）的寄主数量，S 为供试的寄主总数；$r = A/S$，A 为白蜡吉丁柄腹茧蜂在寄主上寄生并完成生长发育、羽化为成蜂的寄主数目。显然，$b \in [0,1]$，$r \in [0,1]$，b、r 越接近 1，则说明该寄主越适合被白蜡吉丁柄腹茧蜂寄生。

由表 3 可知，在不同温度条件下，白蜡吉丁柄腹茧蜂对白蜡窄吉丁的寄生率和寄生成功率不同。在本实验中，22℃时寄生率和寄生成功率最低，分别为 41.18% 和 35.29%；28℃时寄生率最高，为 90.63%；而寄生成功率为 26℃ 时最高，为 81.25%。由此可见，在所设置的温度范围内，高温和低温对白蜡吉丁柄腹茧蜂的寄生率和寄生成功率都有较明显的负影响。22 ~26℃时，寄生率和寄生成功率均随温度的升高而升高，到达 28℃时，寄生率达到最高值，为 90.63%，但是寄生成功率却比 26℃时略有下降；此后 28 ~32℃时二者则随着温度的升高呈下降趋势。

在 26 ~30℃条件下的寄生率和寄生成功率相差都不大，但 30℃时的寄生率和寄生成功率与 26℃和 28℃时相比均有小幅下降，而到了 32℃条件下的寄生率降幅有所加大，部分卵和幼虫不能正常完成发育，寄生成功率较 26 ~30℃有明显的下降。这说明相对较高的温度对白蜡吉丁柄腹茧蜂雌蜂确认寄主并产卵、寄生有一定影响，但是影响并不是很大，但是对于卵和幼虫的发育有较大的负面影响。在 22℃条件下，白蜡吉丁柄腹茧蜂的寄生率和寄生成功率均较其他温度低许多，说明较低温度对该蜂的生长发育不利。主要原因可能是在相对较低的温度下，雌蜂的活动不活跃，识别、确认寄主所需时间较长，且寄生蜂体内卵巢的发育也比在较高温度下缓慢，同时寄主体上的卵和幼虫发育所需时间较长，往往不能正常发育或因其它原因而死亡。

2.4　温度对产卵量及子代蜂数量的影响

产卵量和每头寄主可育出的子代蜂数量都是衡量人工繁育效果的重要指标，如表 3 所示，在不同温度下，平均每头寄主上的卵粒数量和羽化出的子代蜂数量虽然不同，但是差异并不显著（$P > 0.05$），28℃时，白蜡吉丁柄腹茧蜂的产卵量和子代蜂数量均最高，平均产卵量为 10.33 粒，子代蜂数量为 9.00 头。在 22 ~28℃时，随着温度的增加，产卵量及子代蜂数量并未发生明显的递增或递减的趋势，但温度在 28 ~32℃之间时，产卵量与子代蜂数量均有不同的下降趋势。由此可以看出，在人工繁育条件下，将白蜡吉丁柄腹茧蜂的产卵温度控制在 28℃以下为宜。

2.5　温度对子代蜂性比的影响

由表 3 可以看到，白蜡吉丁柄腹茧蜂的子代蜂性比随着温度的升高而缓慢提高，其中 22℃时的性比最低，为 1.90∶1.00；32℃时的性比最高，为 3.75∶1.00。结果表明，在实验温度区间内，温度越

高，子代蜂的雌性比例越高，但各温度条件下子代蜂性比之间并无显著性差异($P>0.05$)。

表 3 不同温度下白蜡吉丁柄腹茧蜂的寄生率、寄生成功率、产卵量、子代蜂数量及性比
Table 3 Parasitism rate, the rate of successful parasitism, fecundity, and the number of wasps and sex ratio of the offspring of *Spathius agrili* at different temperatures

温度(℃) Temperature	寄生率(%) Parasitism rate	寄生成功率(%) Rate of successful parasitism	产卵量 Eggs laid per jar	子代蜂 Offspring	
				数量 Number of wasps	♀:♂
22	41.18	35.29	8.33 ± 2.67 a	7.33 ± 3.18 a	1.90:1.00 a
24	62.50	56.25	9.34 ± 1.76 a	7.67 ± 2.03 a	2.29:1.00 a
26	87.50	81.25	8.67 ± 1.20 a	8.00 ± 1.00 a	3.00:1.00 a
28	90.63	78.13	10.33 ± 2.67 a	9.00 ± 2.52 a	3.43:1.00 a
30	86.36	73.27	6.67 ± 1.20 a	5.67 ± 1.67 a	3.50:1.00 a
32	70.83	54.17	6.00 ± 1.15 a	5.33 ± 1.33 a	3.75:1.00 a

2.6 不同温度下各发育阶段发育速率

实验结果表明，白蜡吉丁柄腹茧蜂各发育阶段发育速率均受到温度不同程度的影响，其中卵和蛹的发育速率是随着温度的升高而加快，而幼虫期的发育速率在26℃时最高(图1)。

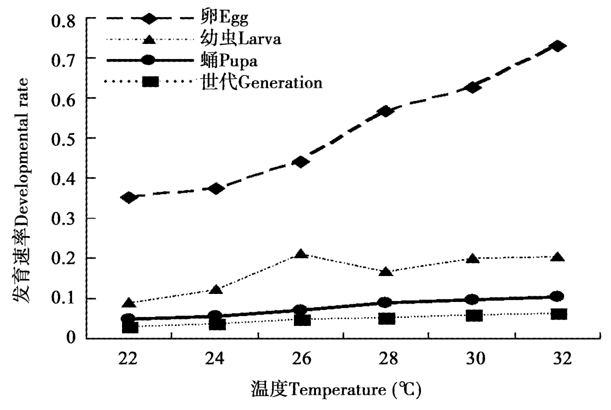


图1 不同温度下白蜡吉丁柄腹茧蜂各发育阶段的发育速率
Fig. 1 Developmental rate of *Spathius agrili* at different temperatures

3 讨论

白蜡吉丁柄腹茧蜂的发育速率、寄生率、寄生成功率、产卵量，子代蜂数量和性比是人工繁育时对其进行质量监控的重要指标。这些指标中，白蜡吉丁柄腹茧蜂的寄生率、产卵量、子代蜂数量都为28℃时最高，而寄生成功率和幼虫发育速率在26℃时最高，只有子代蜂性比是随温度的升高而加大。综合以上各项指标，认为人工繁育的理想温度为26～28℃。

有关温度对寄生蜂生长发育和寄生行为学影响方面的研究较多(蒋杰贤等，2003；陈乾锦等，2003；尹承山等，2003；余虹等，2004；何建云等，2006；康晓霞等，2006)。如温度变化对麦蛾茧蜂雌成蜂生物学参数具有显著影响(田秋等，2006)。温度对烟蚜茧蜂的发育和生殖也具有明显的影响(吴兴富和魏佳宁，2000)，在不同温度条件下，烟蚜茧蜂成蜂和部分形态特征也有变化(季正端和毕章宝，1995)。其实，除温度之外，很多其他因素也同样会影响到寄生蜂的生物学参数，如寄主营养资源的多少直接影响到寄生蜂后代的生长发育和存活(王小艺等，2007)。甚至寄主大小与茧蜂产卵量及其后代性比也密切相关(Wang *et al.*，2008)。

在自然界中，白蜡吉丁柄腹茧蜂的越冬虫态为茧内的老熟幼虫或预蛹，结合本实验结果(茧蛹的发育历期最长)可以确定茧蛹期为该蜂商品化生产时的最佳储存、运输虫态。在人工扩繁和防治应用过程中可以给予茧蛹期以适宜温度控制其发育进度。本研究所求得的白蜡吉丁柄腹茧蜂各虫态的发育起点温度和有效积温是在特定恒温条件下的实验结果，将其用作预测依据时应考虑其局限性，同时还应注意恒温和变温条件的不同，如本实验与王小艺(2005)在变温下求得的全世代发育起点8.39 ± 4.90℃和有效积温386.57 ± 133.05℃就有很大不同。

参考文献(References)

Chen M, Li YH, Ding GQ, 2007. Effects of different temperatures on the development of *Scleroderma guani* reared on *Monochamus alternatus*. *Forest Pest and Disease*, 26(3): 8-10. [陈敏，李永和，丁桂琴，2007. 利用松墨天牛繁育管式肿腿蜂初步研究. 中国森林病虫，26(3): 8-10]

Chen QJ, Zhang GS, Guan BB, Zhang YZ, Chen JH, 2003. Studies on

biology and ecology of *Microplitis prodeniae* (Viereck). *Acta Agriculturae Universitis Jiangxiensis* (*Natural Sciences Edition*), 25 (2): 199 -203. [陈乾锦, 张根顺, 官宝斌, 张玉珍, 陈家骅, 2003. 烟田斜纹夜蛾侧沟茧蜂的生物学和生态学研究. 江西农业大学学报(自然科学版), 25(2): 199 -203]

Guo QL, Huang JC, Ji QE, Yang JQ, Chen JH, 2007. Studies on the developmental threshold temperature and effective accumulative temperature of *Fopius arisanus*. *Entomological Journal of East China*, 16(1): 41 -43. [郭庆亮, 黄局昌, 季清娥, 杨建全, 陈家骅, 2007. 阿里山潜蝇茧蜂 *Fopius arisanus* 的发育起点温度和有效积温. 华东昆虫学报, 16(1): 41 -43]

Haack RA, Jendek E, Jendak E, Liu HP, Marchant KR, Petrice TR, Poland TM, Ye H, 2002. The emerald ash borer: a new exotic pest in North America. *Newsletter of Michigan Entomological Society*, 47 (3 -4): 1 -5.

Hagastrum DW, Milliken GA, David WH, George AM, 1988. Quantitative analysis of temperature, moisture, and diet factors affecting insect development. *Annals of the Entomological Society of America*, 81(4): 539 -546.

He JY, Xiao TG, Wang WY, Xiao F, 2006 . Biological characteristics of *Apanteles galleriae* Wilkinson . *Journal of Hunan Agricultural University* (*Natural Sciences*), 32(5): 517 -520. [何建云, 肖铁光, 王文艺, 肖芬, 2006. 蜡螟绒茧蜂的生物学特性. 湖南农业大学学报(自然科学版), 32(5): 517 -520]

Herms DA, Stone AK, Chatfield JA, 2004. Emerald ash borer: the beginning of the end of ash in North America? In: Chatfield JA, Draper EA, Mathers HM, Dyke DE, Bennett PJ, Boggs JF eds. Ornamental Plants: Annual Reports and Research Reviews 2003. Agricultural Research and Development Center, USA, Special Circular 193. 62 -71.

Jendek E, 1994. Studies in the East Palaearctic species of the genus *Agrilus* Dahl, 1823 (Coleoptera: Buprestidae). Part I. *Entomological Problems*, 25(1): 9 -25.

Ji ZD, Bi ZB, 1995. Bionomics of *Aphidius gifuensis* Ashmead Ⅱ. The effect of temperature on the adult integmental colouration and variability of some morphological characters. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 18(2): 1 -5 . [季正端, 毕章宝, 1995 . 烟蚜茧蜂生物学研究Ⅱ:温度对成蜂体色的影响及某些形态特征的变异. 河北农业大学学报, 18(2): 1 -5]

Jiang JX , Wang KW , Jiang ZR , 2003 . Bionomics of *Microplitis* sp. (Hymenoptera), and the effect of parasitism on the development and food consumption of *Spodoptera litura* larvae. *Journal of Shanghai Jiaotong University* (*Agricultural Science*) , 21(2): 125 -130. [蒋杰贤, 王奎武, 蒋祝瑞, 2003. 斜纹夜蛾侧沟茧蜂生态学特性及寄生对寄主发育和取食的影响. 上海交通大学学报(农业科学版), 21(2): 125 -130]

Kang XX, Zhao GM, Gong YF, Li L, Yang YZ, 2006 . Biological characteristics of adult *Apanteles opacus*, a parasitoid of *Sylepta derogata*. *Chinese Journal of Biological Control*, 22(4): 275 -278. [康晓霞, 赵光明, 龚一飞, 李丽, 杨益众, 2006 . 棉大卷叶螟绒茧蜂生物学特性观察. 中国生物防治, 22(4): 275 -278]

Liu HQ, Ma RS, Li QH, 1996. Investigation and control techniques of *Agrilus marcopoli* Obenberger. *Tianjin Agric. For. Sci. Technol.*, (1): 46 -48. [刘海清,马润生,李庆海,1996. 栲小吉丁虫的调查研究及防治技术. 天津农林科技, (1): 46 -48]

Tian Q, Cong B, Zhang HY, Dong H, Qiang HT, 2006. Effects of temperature on development, fecundity and longevity of *Habrobracon hebetor*. *Entomological Knowledge*, 43(5): 666 -669. [田秋, 丛斌, 张海燕, 董辉, 钱海涛, 2006. 不同温度对麦蛾茧蜂实验种群生长发育的影响. 昆虫知识, 43(5): 666 -669]

Tian SP, Xu ZQ, 2003. Effects of different temperatures on the development of *Sderoderma guani* reared with *Tenebrio molitor*. *Entomological Knowledge*, 40(4): 356 -359. [田慎鹏, 徐志强, 2003. 不同温度条件对利用黄粉甲繁育管氏肿腿蜂的影响. 昆虫知识, 40(4): 356 -359]

Wang XY, Yang ZQ, Wu H, Liu SJ, Wang HY, Bai L, 2007 . Parasitism and reproductive biology of *Spathius agrili* Yang (Hymenoptera: Braconidae). *Acta Entomologica Sinica*, 50(9): 920 -926. [王小艺, 杨忠岐, 武辉, 刘松君, 王红艳, 白玲, 2007. 白蜡吉丁柄腹茧蜂的寄生和繁殖生物学. 昆虫学报, 50 (9): 920 -926]

Wang XY, 2005. Biology of the Emerald Ash Borer and Its Biological Control. Postdoctoral Research Report, Chinese Academy of Forestry, Beijing. [王小艺, 2005. 白蜡窄吉丁的生物学及其生物防治研究. 北京: 中国林业科学研究院博士后出站报告]

Wang XY, Yang ZQ, 2005. Relationships of spatial patterns between larvae of the emerald ash borer and its natural enemies. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16(8): 1 427 -1 431. [王小艺,杨忠岐, 2005. 白蜡窄吉丁幼虫及其天敌在空间格局上的关系. 应用生态学报, 16(8): 1 427 -1 431]

Wang XY, Yang ZQ, Liu GJ, Liu ES, 2006. Relationships between the emergence and oviposition of ectoparasitoid *Spathius agrili* Yang and its host emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire. *Acta Ecologica Sinica*, 26(4): 1 103 -1 109. [王小艺, 杨忠岐, 刘桂军, 刘恩山, 2006. 白蜡吉丁柄腹茧蜂的羽化和产卵与寄主之间的关系. 生态学报, 26(4): 1 103 -1 109]

Wei X, Reardon D, Wu Y, Sun JH, 2004. Emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae), in China: a review and distribution survey. *Acta Entomologica Sinica*, 47(5): 679 -685. [魏霞,Dick REARDON, 吴云,孙江华,2004. 白蜡窄吉丁虫在中国的研究现状与分布调查. 昆虫学报, 47(5): 679 -685]

Wu XF, Li TF, Wei JN, Wang Y, Deng JH, Gao JH, Zhao LH, 2000. Effects of temperature on development and fecundity of *Aphidius gifuensis* Ashmead. *Zoological Research*, 21(3): 192 -198. [吴兴富, 李天飞, 魏佳宁, 王毅, 邓建华, 高家合, 赵立恒, 2000. 温度对烟蚜茧蜂发育、生殖的影响. 动物学研究, 21(3): 192 -198]

Yang ZQ, Strazanac JS, Marsh PM, van Achterberg C, Choui WY, 2005. First recorded parasitoid from China of *Agrilus planipennis*: a new species of *Spathius* (Hymenoptera: Braconidae: Doryctinae). *Annals of the Entomological Society of America*, 98(5): 636 -642.

Yin CS, Chen XX, Lang FY, He JH, 2003. Biological characteristics of

adult *Opius caricivorae* Fischer, a parasitoid of *Liriomyza sativae* Blandchard. *Acta Entomologica Sinica*, 46(4): 505-511. [尹承山, 陈学新, 郎法勇, 何俊华, 2003. 美洲斑潜蝇寄生蜂——黄腹潜蝇茧蜂成虫的生物学特性. 昆虫学报, 46(4): 505-511]

Yu CM, 1992. *Agrilus marcopoli* Obenberger. In: Xiao GR ed. Forest Insects of China. 2nd ed. China Forestry Publishing House, Beijing. 400-401. [于诚铭, 1992. 花曲柳窄吉丁. 见: 萧刚柔主编. 中国森林昆虫(第二版). 北京: 中国林业出版社. 400-401]

Yu H, Zhou Q, Song Y, 2004. Biological characteristics of *Apanteles heterusiae* Wilkinson. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 30(5): 557-560. [余虹, 周勤, 宋毓, 2004, 桑螟绒茧蜂的生物学特性. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 30(5): 557-560]

Zhang XX, 2002. Insect Ecology and Forecast. 3rd ed. China Agriculture Press, Beijing. 217-220. [张孝羲, 2002. 昆虫生态及预测预报(第三版). 北京: 中国农业出版社. 217-220]

Zhao TH, Gao RT, Liu HP, Bauer LS, Sun LQ, 2005. Host range of emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire, its damage and the countermeasures. *Acta Entomologica Sinica*, 48(4): 594-599. [赵同海, 高瑞桐, Liu HP, Bauer LS, 孙龙强, 2005. 花曲柳窄吉丁的寄主植物范围、危害和防治对策. 昆虫学报, 48(4): 594-599]

(责任编辑:袁德成)